

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-68155

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月9日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
 H 0 1 L 33/00  
 21/205  
 31/04  
 31/10

識別記号

F I  
 H 0 1 L 33/00 C  
 21/205  
 31/04 E  
 31/10 A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-151800  
 (22) 出願日 平成9年(1997) 6月10日  
 (31) 優先権主張番号 特願平9-150812  
 (32) 優先日 平9(1997) 6月9日  
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

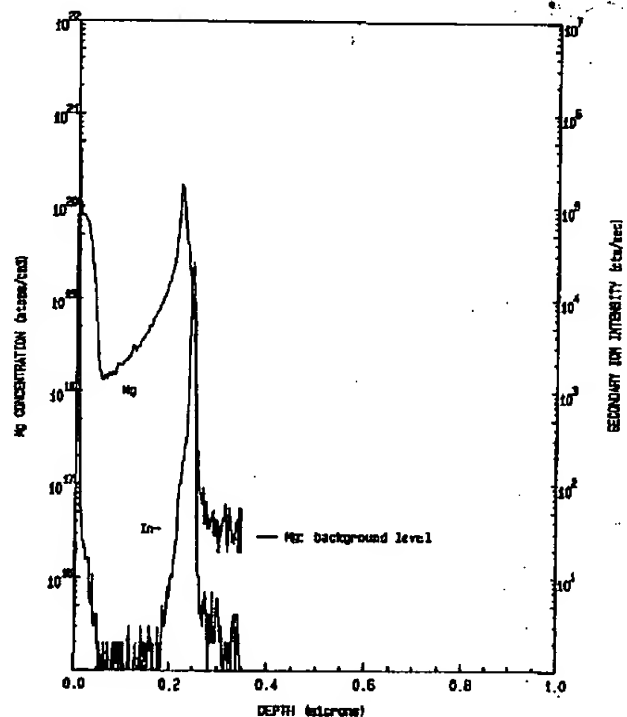
(71) 出願人 000226057  
 日亜化学工業株式会社  
 徳島県阿南市上中町岡491番地100  
 (72) 発明者 向井 孝志  
 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
 学工業株式会社内  
 (72) 発明者 窪田 傑  
 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
 学工業株式会社内  
 (72) 発明者 中村 修二  
 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化  
 学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子及び窒化物半導体の成長方法

## (57) 【要約】

【目的】 新規な窒化物半導体素子の構造と、その窒化物半導体素子を構成する窒化物半導体の成長方法とを提供することにより、LED、LDの出力を向上させる。

【構成】 活性層上部にp型不純物を含む第1の窒化物半導体層が形成され、その第1の窒化物半導体層上部に、その第1の窒化物半導体層から離れるに従ってp型不純物濃度が次第に少なくなっている第2の窒化物半導体層を備え、その第2の窒化物半導体層上部に、第2の窒化物半導体層の平均p型不純物濃度よりも多量のp型不純物を含む第3の窒化物半導体層を有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層上部にp型不純物を含む第1の窒化物半導体層が形成され、その第1の窒化物半導体層上部に、その第1の窒化物半導体層から離れるに従ってp型不純物濃度が次第に少なくなっている第2の窒化物半導体層を備え、その第2の窒化物半導体層上部に、第2の窒化物半導体層の平均p型不純物濃度よりも多量のp型不純物を含む第3の窒化物半導体層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記第2の窒化物半導体層が複数の窒化物半導体層が積層された多層膜よりなり、その多層膜のp型不純物が段階的に少なくなっていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 反応容器内において、p型不純物源ガスと、III族源ガスと、窒素源ガスとを用い、p型不純物を含む第1の窒化物半導体層を成長させた後、p型不純物源と、III族源ガスと、窒素源ガスとを用いて第2の窒化物半導体層を成長させ、第2の窒化物半導体成長中にp型不純物源ガスの流量を徐々に減らすことにより、第2の窒化物半導体層中のp型不純物濃度を第1の窒化物半導体層から離れるに従って少なくなるようにすることを特徴とする窒化物半導体の成長方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は例えばLED、LD等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子等に用いられる窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) よりなる素子と、その素子を構成する窒化物半導体の成長方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、本出願人により、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号等で実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用されるLEDは、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造 (SQW: Single-Quantum-Well) の  $\text{InGaN}$  よりなる活性層が挟まれたダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長は  $\text{InGaN}$  活性層の  $\text{In}$  組成比を増減することで決定されている。青色LEDは20mAにおいて発光波長450nm、半値幅20nm、光度2cd、光出力5mW、外部量子効率9.1%である。一方、緑色LEDは同じく20mAにおいて、発光波長525nm、半値幅30nm、光度6cd、光出力3mW、外部量子効率6.3%である。

【0003】また本出願人は、最近この材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した (例えば、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L74、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L217等)。このレーザ素子は、 $\text{InGaN}$  を用いた多重量子井戸構造の活性層を有するダブルヘテロ構造を有し、パルス幅2μs、パルス

周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。改良したレーザ素子もまた、Appl.Phys.Lett.69(1996)1477において発表した。このレーザ素子は、p型窒化物半導体層の一部にリッジストライプが形成された構造を有しており、パルス幅1μs、パルス周期1ms、デューティ比0.1%で、閾値電流187mA、閾値電流密度3kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。さらに本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。(例えば、日経エレクトロニクス 1996年12月2日号 技術速報、Appl.Phys.Lett.69(1996)3034、Appl.Phys.Lett.69(1996)4056等)、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度3.6kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧5.5V、1.5mW出力において、27時間の連続発振を示す。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように窒化物半導体を用いた発光デバイスはLEDとして既に実用化されているが、未だ不十分な点もあり、さらなる発光出力の向上が望まれている。またLDは実用化を目指して現在鋭意研究中であり、出力の向上はもちろんのこと、長寿命化が望まれている。これらLED、LDのような発光デバイスの発光出力を向上させることができれば、類似した構造を有する太陽電池、光センサー等の受光デバイスの受光効率も同時に向上させることができる。従って、本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであって、その目的とするところは、新規な窒化物半導体素子の構造と、その窒化物半導体素子を構成する窒化物半導体の成長方法とを提供することにより、主としてLED、LDの出力を向上させることにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物半導体素子は、活性層上部にp型不純物を含む第1の窒化物半導体層が形成され、その第1の窒化物半導体層上部に、その第1の窒化物半導体層から離れるに従ってp型不純物濃度が次第に少なくなっている第2の窒化物半導体層を備え、その第2の窒化物半導体層上部に、第2の窒化物半導体層の平均p型不純物濃度よりも多い量のp型不純物を含む第3の窒化物半導体層を有することを特徴とする。なお本発明において、活性層と第1の窒化物半導体層とは接して形成されていなくても良く、また第1の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層とは接して形成されていなくても良く、さらに第2の窒化物半導体層と第3の窒化物半導体層とは接して形成されていなくても良い。

【0006】さらに本発明の窒化物半導体素子は、前記第2の窒化物半導体層が複数の窒化物半導体層が積層された多層膜よりなり、その多層膜のp型不純物が段階的に少なくなっていることを特徴とする。

【0007】本発明の窒化物半導体の成長方法は、反応容器内において、p型不純物源ガスと、III族源ガス

と、窒素源ガスとを用い、p型不純物を含む第1の窒化物半導体層を成長させた後、p型不純物源と、III族源ガスと、窒素源ガスとを用いて第2の窒化物半導体層を成長させ、第2の窒化物半導体成長中にp型不純物源ガスの流量を徐々に減らすことにより、第2の窒化物半導体層中のp型不純物濃度を第1の窒化物半導体層から離れるに従って少なくなるようにすることを特徴とする。

【0008】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施例に係る窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図であり、具体的にはLED素子の構造を示している。素子構造としては、サファイアよりなる基板1の上に、Ga<sub>2</sub>Nよりなるバッファ層2、SiドープGa<sub>2</sub>Nよりなるn側コンタクト層3（兼n側クラッド層）、膜厚300Åの単一量子井戸構造のInGa<sub>2</sub>Nよりなる活性層4、MgドープAlGa<sub>2</sub>Nよりなる第1のp側窒化物半導体層5、Mgが傾斜ドープされたGa<sub>2</sub>Nよりなる第2のp側窒化物半導体層6、Mg平均濃度が第2のp側窒化物半導体層6よりも多くドープされたGa<sub>2</sub>Nよりなる第3のp側窒化物半導体層7が積層されてなっている。第3のp側窒化物半導体層7のほぼ全面には、透光性の金属薄膜よりなるp電極8が形成され、その全面電極8の隅部にはボンディング用のパッド電極9が形成されている。一方p側窒化物半導体層側からエッチングして露出されたn側コンタクト層3の表面にはn電極10が形成されている。

【0009】また、図2にこのLED素子をSIMS（二次イオン質量分析装置）により分析したデータを示す。Mgは濃度を示し、Inは二次イオン強度でもって示している。つまりInピークは活性層の位置を示し、Mgは活性層よりもp層側に分布していることを示している。この図では最上層からCsイオンでLED素子をスパッタして、出てくる元素を分析し、横軸に深さ、縦軸にMg濃度と、In強度をとって示している。このように、本発明の素子では、Mg濃度が活性層から離れるに従って次第に小さくなるように調整された窒化物半導体層を有している。

【0010】本発明の素子ではp型不純物を含む第1の窒化物半導体層5の上に、p型不純物が傾斜ドープされた第2のp側窒化物半導体層6を有している。この第2のp側窒化物半導体層はこのようにp側不純物が傾斜ドープされることによって、発光素子出力を向上させることができる。即ち、コンタクト層として作用するp型不純物が高濃度にドープされた第3のp側窒化物半導体と、その第3のp側窒化物半導体層よりも活性層に接近した位置に、p型不純物が傾斜ドープされた第2のp側窒化物半導体、さらに第2の窒化物半導体よりも活性層に接近した位置にp型不純物が高濃度にドープされた第1のp側窒化物半導体とを備えることにより、コンタクト層側から注入されるキャリアを、活性層に貯まりやす

くできるために、素子全体の出力を向上させることができる。

【0011】活性層4は少なくともInを含む窒化物半導体層を含む単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造とする。井戸層は膜厚100Å以下、さらに好ましくは70Å以下のIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0<X≤1）で構成することが望ましく、また障壁層は井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きいIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N（0≤Y<1）、若しくはAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0<X'≤1）を200Å以下、さらに好ましくは150Å以下の膜厚で構成することが望ましい。

【0012】第1のp側窒化物半導体層5はp型不純物を含む窒化物半導体層で構成されていれば良く、特に活性層に接していてもいなくても良い。半導体としては活性層よりもバンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体を選択し、例えば前記のようにAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0≤X≤1）を好ましく成長させる。一方ドープするp型不純物濃度は1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上、1×10<sup>21</sup>/cm<sup>3</sup>以下、さらに好ましくは5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上、5×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>に調整する。p型不純物としては例えばMg、Zn、Cd、Ca、Be、Sr等のII族元素を好ましくドープする。さらにこの第1の窒化物半導体層を互いに組成の異なる2種類の窒化物半導体層が積層されてなる超格子層とすることもできる。超格子層とする場合、超格子層を構成する窒化物半導体層の膜厚は100Å以下、さらに好ましくは70Å以下の膜厚に調整する。超格子層とすると、窒化物半導体層の結晶性が良くなり、出力がさらに向上する。超格子層とする場合、p型不純物は両方の層にドープしても良いし、いずれか一方の層にドープしても良い。

【0013】第2の窒化物半導体層6は第1の窒化物半導体層5に接して形成されていることが望ましいが、特に接して形成されていなくても良い。例えば第1と第2の窒化物半導体層との間に数百Å以下の膜厚のアンドープの窒化物半導体層を成長させることもできる。また、不純物は第3の窒化物半導体層6に接近して連続的に少なくなるように調整することが望ましいが、段階的にp型不純物のドープ量を少なくして第2の窒化物半導体層を成長させることもできる。窒化物半導体層の組成は特に問うものではないが、好ましくは第3の窒化物半導体層と同一組成とする。第2の窒化物半導体層の膜厚は2μm以下、さらに好ましくは1μm以下、最も好ましくは0.5μm以下に調整する。また第2の窒化物半導体層を窒化物半導体の多層膜（超格子を含む）構造として、その多層膜を構成する窒化物半導体層のp型不純物濃度を段階的に少なくなるようにしても良い。

【0014】第3の窒化物半導体層7は、p電極を形成

するコンタクト層とすることが望ましく、好ましくはX値が0.3以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 0.3$ )とするとp電極と好ましいオーミックが得られる。第3の窒化物半導体層7のp型不純物濃度は、第1の窒化物半導体層5と同じく、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、 $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ に調整することが望ましい。また第3の窒化物半導体層の膜厚は第2の窒化物半導体層よりも薄く調整することが望ましい。即ち、コンタクト層として作用する第3のp型窒化物半導体層の膜厚を薄くして、高濃度にp型不純物をドーピングすることによりコンタクト抵抗が下がるので、Vf(順方向電圧)が低下しやすい傾向にある。

#### 【0015】

【実施例】以下、MOCVD法を用いて本発明の窒化物半導体素子の製造方法について説明する。

【0016】[実施例1] サファイア(0001)面を主面とする基板を用意し、原料ガスにTMG(トリメチルガリウム)、アンモニアを用いて500℃でGa<sub>0.3</sub>Nよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0017】次に温度を1050℃に上昇させ、TMG、アンモニア、不純物ガスにモノシランガスを用いて、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたn型Ga<sub>0.3</sub>N層を5μmの膜厚で成長させる。

【0018】次に温度を800℃にして、TMI(トリメチルインジウム)、TMG、アンモニアを用い、活性層として、アンドープIn<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。

【0019】次に温度を1050℃にして、TMG、アンモニア、不純物ガスとしてCp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなる第1の窒化物半導体層を200オングストロームの膜厚で成長させる。この第1の窒化物半導体層はキャリアを閉じ込める層として作用する。

【0020】第1の窒化物半導体層成長後、原料ガスを止め、続いて再度TMG、アンモニア、Cp2Mgを流し、1050℃で、p型不純物が傾斜ドーピングされたGa<sub>0.3</sub>Nよりなる第2の窒化物半導体層を0.18μmの膜厚で成長させる。但しCp2MgはMFC(マスフローコントローラ)により、成長中徐々に流量が少なくなるように調整し、第2の窒化物半導体層が成長し終わる頃には、Cp2Mgの流量が0となるようにする。

【0021】第2の窒化物半導体層成長後、TMG、アンモニア、Cp2Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングした第3の窒化物半導体層を300オングストロームの膜厚で成長させる。

【0022】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器内において、窒素雰囲気中700

℃でアニーリングを行い、p型不純物をドーピングした層をさらに低抵抗化させる。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、RIE装置により最上層の第3の窒化物半導体層側からエッチングを行い、n電極を形成すべきn側コンタクト層の表面を露出させる。最上層の第3の窒化物半導体層のほぼ全面にNi/Auよりなる全面電極を200オングストロームの膜厚で形成し、その全面電極の一部に1μmの膜厚でAuよりなるパッド電極を形成する。一方、露出させたn側コンタクト層の表面には、WとAuよりなるn電極を形成する。

【0023】以上のようにして電極を形成したウェーハを350μm角のチップに分離し、発光させたところ20mAにおいて、Vf3.2V、発光波長525nm、光出力3.5mW、外部量子効率7.3%となり、傾斜ドーピングしていない従来の緑色LEDに比較して、およそ1.2倍に向上した。

【0024】[実施例2] 実施例1において、第1の窒化物半導体層成長後、原料ガスを止め、続いて再度TMG、アンモニア、Cp2Mgを流し、1050℃で、p型不純物を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGa<sub>0.3</sub>N層を500オングストローム成長させ、次にCp2Mgの流量を変えて、Mgを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGa<sub>0.3</sub>N層を500オングストローム成長させ、次にMgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGa<sub>0.3</sub>N層を500オングストローム成長させ、最後にMgをドーピングしていないGa<sub>0.3</sub>N層を500オングストローム成長させて、総膜厚0.2μmの第2の窒化物半導体層を成長させる。その他は実施例1と同様にしたところ、実施例1のものとほぼ同等の特性を有するLED素子が作製できた。

【0025】[実施例3] 図3は本発明に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下、この図を元に本発明の第3実施例について説明する。

【0026】サファイア(0001)面を主面とする基板の上にGa<sub>0.3</sub>Nよりなるバッファ層を介してGa<sub>0.3</sub>Nよりなる単結晶を120μmの膜厚で成長させたGa<sub>0.3</sub>N基板100を用意する。このGa<sub>0.3</sub>N基板100をサファイアの上に成長させた状態で、反応容器内にセットし、温度を1050℃まで上げ、実施例1と同様にして、Ga<sub>0.3</sub>N基板100上にSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGa<sub>0.3</sub>Nよりなるn側バッファ層11を4μmの膜厚で成長させる。このn側バッファ層は高温で成長させるバッファ層であり、例えば実施例1のように、サファイア、SiC、スピネルのように窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に、900℃以下の低温において、Ga<sub>0.3</sub>N、Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N等を、0.5μm以下の膜厚で直接成長させるバッファ層2とは区別される。

【0027】(n側クラッド層12=歪み超格子層) 続いて、1050℃でTMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなる第1の層を40オングストロ

10

20

30

40

50

ームの膜厚で成長させ、続いてシランガス、TMAを止め、アンドープのGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させる。そして第1層+第2層+第1層+第2層+・・・というように歪み超格子層を構成し、それぞれ100層ずつ交互に積層し、総膜厚0.8μmの歪み超格子よりなるn側クラッド層12を成長させる。

【0028】(n側光ガイド層13) 続いて、シランガスを止め、1050℃でアンドープGa<sub>0.8</sub>Nよりなるn側光ガイド層13を0.1μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層は、活性層の光ガイド層として作用し、Ga<sub>0.8</sub>N、InGa<sub>0.8</sub>Nを成長させることが望ましく、通常100オングストローム〜5μm、さらに好ましくは200オングストローム〜1μmの膜厚で成長させることが望ましい。またこの層をアンドープの歪み超格子層とすることもできる。歪み超格子層とする場合にはバンドギャップエネルギーは活性層より大きく、n側クラッド層よりも小さくする。

【0029】(活性層14) 次に、原料ガスにTMG、TMI、アンモニアを用いて活性層14を成長させる。活性層14は温度を800℃に保持して、アンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、アンドープIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返す、最後に井戸層を積層した総膜厚1.75オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドーピングしても良い。不純物は井戸層、障壁層両方にドーピングしても良く、いずれか一方にドーピングしてもよい。

【0030】(p側キャップ層15=第1の窒化物半導体層) 次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、p側光ガイド層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp側キャップ層17を300オングストロームの膜厚で成長させる。p側キャップ層は0.5μm以下、さらに好ましくは0.1μm以下の膜厚で成長させると、p側キャップ層がキャリアを活性層内に閉じ込めるためのバリアとして作用するので、出力が向上する。このp型キャップ層15の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0031】(p側光ガイド層16=第2の窒化物半導体層) p側キャップ層15成長後、再度TMG、Cp2Mg、アンモニアを用い、実施例1と同様に、1050℃で、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層15よりも小さい、p型不純物が傾斜ドーピングされたGa

Nよりなるp側光ガイド層16を0.1μmの膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用する。

【0032】(p側クラッド層17) 続いて、1050℃でMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなる第3の層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAのみを止め、アンドープGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第4の層を40オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこの操作をそれぞれ100回繰り返す、総膜厚0.8μmの歪み超格子層よりなるp側クラッド層17を形成する。

【0033】(p側コンタクト層18=第3の窒化物半導体層) 最後に、1050℃で、p側クラッド層17の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga<sub>0.8</sub>Nよりなるp側コンタクト層18を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層18はp型のIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (0 ≤ x, 0 ≤ y, x+y ≤ 1) で構成することができ、好ましくはMgをドーピングしたGa<sub>0.8</sub>Nとすれば、p電極21と最も好ましいオーミック接触が得られる。またp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nを含む歪み超格子構造のp側クラッド層17に接して、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体をp側コンタクト層として、その膜厚を500オングストローム以下と薄くしているために、実質的にp側コンタクト層18のキャリア濃度が高くなりp電極と好ましいオーミックが得られて、素子の閾値電流、電圧が低下する。

【0034】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器内において、窒素雰囲気中700℃でアニーリングを行い、p型不純物をドーピングした層をさらに低抵抗化させる。

【0035】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図3に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層18と、p側クラッド層17とをエッチングして、4μmのストライプ幅を有するリッジ形状とする。このように、活性層よりも上部にある層をストライプ状のリッジ形状とすることにより、活性層の発光がストライプリッジの下に集中するようになって閾値が低下する。特に歪み超格子層よりなるp側クラッド層17以上の層をリッジ形状とすることが好ましい。

【0036】リッジ形成後、p側コンタクト層18のリッジ最表面にNi/Auよりなるp電極21をストライプ状に形成し、p電極21以外の最表面の窒化物半導体層のSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介してp電極21と電気的に接続したpパッド電極22を形成する。

【0037】以上のようにして、p電極を形成したウェーハを研磨装置に移送し、サファイア基板を研磨により除去し、Ga<sub>0.8</sub>N基板10の表面を露出させる。露出したGa<sub>0.8</sub>N基板表面のほぼ全面にTi/Alよりなるn電極23を形成する。

【0038】電極形成後Ga<sub>0.4</sub>N基板のM面（窒化物半導体を六方晶系で近似した場合に六角柱の側面に相当する面）で劈開し、その劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とする。

【0039】このレーザチップをフェースアップ（基板とヒートシンクとが対向した状態）でヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度2.0kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.0Vで、発振波長405nmの連続発振が確認され、1000時間以上の寿命を示した。

【0040】

【発明の効果】このように、本発明の窒化物半導体素子では、活性層の上にあるp型不純物を多くドーピングした窒化物半導体層と、p型不純物を多くドーピングした窒化物半導体層との間に、p型不純物を傾斜ドーピングした層を介在させることにより、出力が大幅に向上させることができる。また本発明の素子はLED、LDのような発光デバイスだけではなく、他の受光デバイスのような窒化物半

導体を用いた多くの電子デバイスに用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る一LED素子の構造を示す模式断面図。

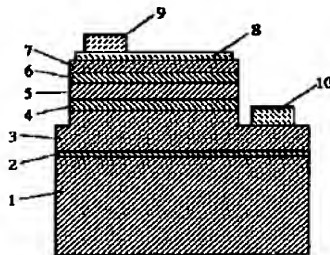
【図2】 図1のLED素子のp型不純物濃度を示す分布図。

【図3】 本発明の他の実施例に係るLD素子の構造を示す模式断面図。

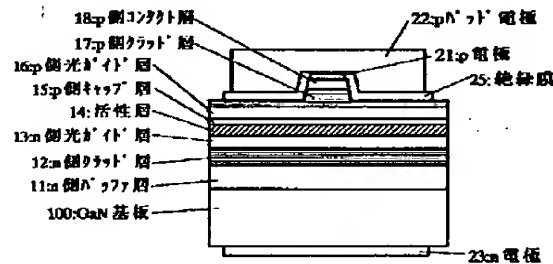
【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n側コンタクト層
- 4・・・活性層
- 5・・・第1のp側窒化物半導体層
- 6・・・第2のp側窒化物半導体層
- 7・・・第3のp側窒化物半導体層
- 8・・・p電極
- 9・・・パッド電極
- 10・・・n電極

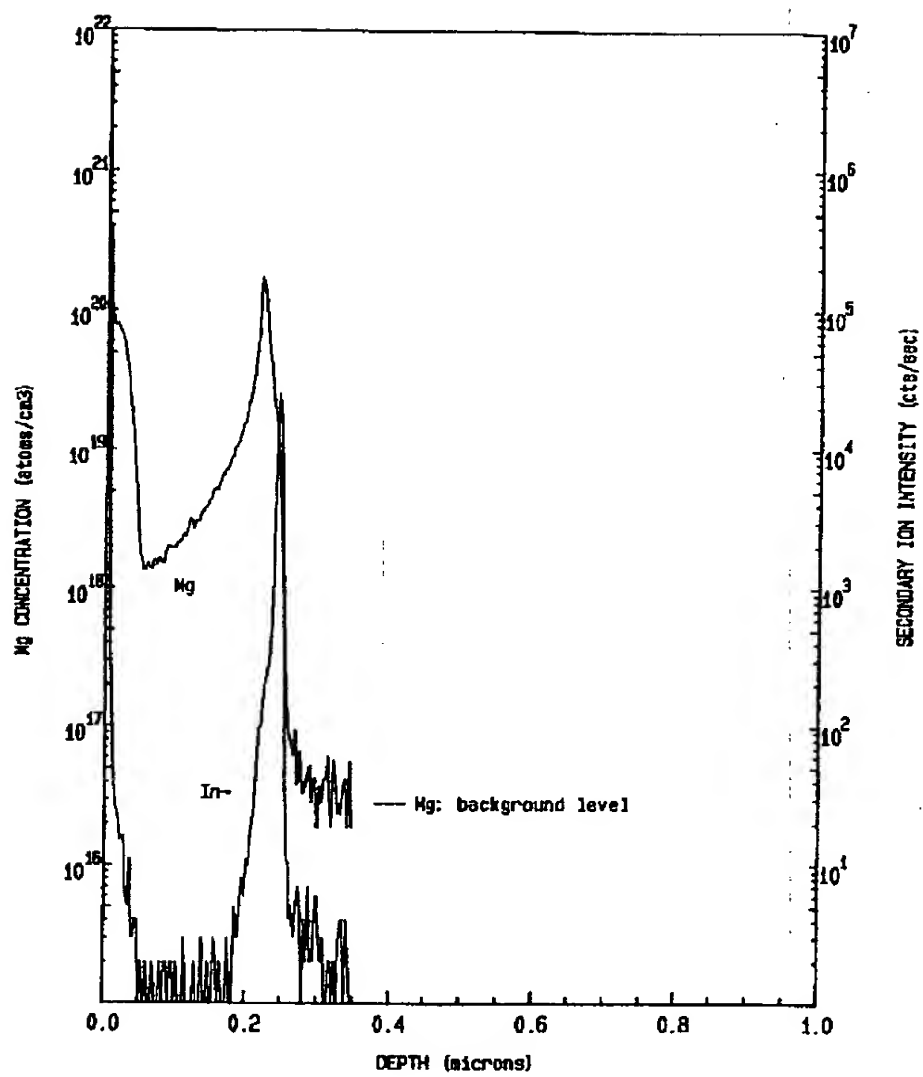
【図1】



【図3】



【図2】





(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-31841

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-187070

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月14日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 窪田 傑

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 向井 孝志

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

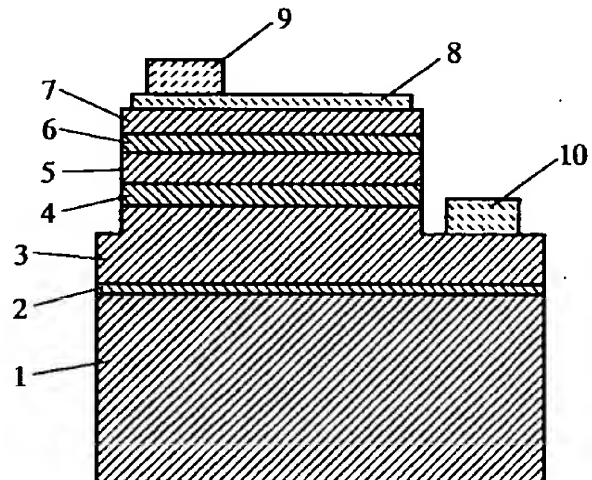
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【目的】 新規な窒化物半導体素子の構造を提供することにより、LED、LDの出力を向上させる。

【構成】 活性層4上部にp型不純物を含む第1の窒化物半導体層5が形成され、その第1の窒化物半導体層5上部に、その第1の窒化物半導体層5のp型不純物濃度より少量のp型不純物を含む第2の窒化物半導体層6を備え、その第2の窒化物半導体層6上部に、第1の窒化物半導体層5のp型不純物濃度よりも多量のp型不純物を含む第3の窒化物半導体層7を有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層上部にp型不純物を含む第1の窒化物半導体層が形成され、その第1の窒化物半導体層上部に、その第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度より少量のp型不純物を含む第2の窒化物半導体層を備え、その第2の窒化物半導体層上部に、第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度よりも多量のp型不純物を含む第3の窒化物半導体層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{17}$ 以上 $1 \times 10^{20}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{20}$ 未満であることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記第3の窒化物半導体層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18}$ 以上 $1 \times 10^{21}$ 以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は例えばLED、LD等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子等に用いられる窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) よりなる素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、本出願人により、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号等で実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用されるLEDは、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造 (SQW: Single-Quantum-Well) のInGa<sub>0.49</sub>Nよりなる活性層が挟まれたダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長はInGa<sub>0.49</sub>N活性層のIn組成比を増減することで決定されている。青色LEDは20mAにおいて発光波長450nm、半値幅20nm、光度2cd、光出力5mW、外部量子効率9.1%である。一方、緑色LEDは同じく20mAにおいて、発光波長525nm、半値幅30nm、光度6cd、光出力3mW、外部量子効率6.3%である。

【0003】また本出願人は、最近この材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した(例えば、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L74、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L217等)。このレーザ素子は、InGa<sub>0.49</sub>Nを用いた多重量子井戸構造の活性層を有するダブルヘテロ構造を有し、パルス幅2μs、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。改良したレーザ素子もまた、Appl.Phys.Lett.69(1996)1477に

層の一部にリッジストライプが形成された構造を有しており、パルス幅1μs、パルス周期1ms、デューティ比0.1%で、閾値電流187mA、閾値電流密度3kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。さらに本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。(例えば、日経エレクトロニクス 1996年12月2日号 技術速報、Appl.Phys.Lett.69(1996)3034、Appl.Phys.Lett.69(1996)4056 等)、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度3.6kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧5.5V、1.5mW出力において、27時間の連続発振を示す。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように窒化物半導体を用いた発光デバイスはLEDとして既に実用化されているが、未だ不十分な点もあり、さらなる発光出力の向上が望まれている。またLDは実用化を目指して現在鋭意研究中であり、出力の向上はもちろんのこと、長寿命化が望まれている。これらLED、LDのような発光デバイスの発光出力を向上させることができれば、類似した構造を有する太陽電池、光センサー等の受光デバイスの受光効率も同時に向上させることができる。従って、本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであって、その目的とするところは、新規な構造を有する窒化物半導体素子を提供することにより、主としてLED、LDの出力を向上させることにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は以下の構成によって達成することができる。

(1) 活性層上部にp型不純物を含む第1の窒化物半導体層が形成され、その第1の窒化物半導体層上部に、その第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度より少量のp型不純物を含む第2の窒化物半導体層を備え、その第2の窒化物半導体層上部に、第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度よりも多量のp型不純物を含む第3の窒化物半導体層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 前記第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{17}$ 以上 $1 \times 10^{20}$ 以下であることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体素子。

(3) 前記第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{20}$ 未満であることを特徴とする前記(1)又は(2)に記載の窒化物半導体素子。

(4) 前記第3の窒化物半導体層のp型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18}$ 以上 $1 \times 10^{21}$ 以下であることを特徴とする前記(1)～(3)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【0006】つまり、本発明は活性層の上部に積層される特定の複数のp側窒化物半導体層のp型不純物濃度を規定し、更にp型不純物濃度を規定された複数のp側窒化物半導体層の積層順を規定することで、LED、LD

明において、活性層と第1の窒化物半導体層とは接して形成されていなくても良く、また第1の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層とは接して形成されていなくても良く、さらに第2の窒化物半導体層と第3の窒化物半導体層とは接して形成されていなくても良い。

【0007】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図であり、具体的にはLED素子の構造を示している。素子構造としては、サファイアよりなる基板1の上に、GaNよりなるバッファ層2、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層3（兼n側クラッド層）、膜厚300Åの単一量子井戸構造のInGa<sub>x</sub>Nよりなる活性層4、MgドープAlGa<sub>1-x</sub>Nよりなる第1のp側窒化物半導体層5、Mgが第1のp側窒化物半導体層5よりも少量ドープされたGa<sub>1-x</sub>Nよりなる第2のp側窒化物半導体層6、Mgが第1のp側窒化物半導体層5よりも多くドープされたGa<sub>1-x</sub>Nよりなる第3のp側窒化物半導体層7が積層されてなっている。第3のp側窒化物半導体層7のほぼ全面には、透光性の金属薄膜よりなるp電極8が形成され、その全面電極8の隅部にはボンディング用のパッド電極9が形成されている。一方p側窒化物半導体層側からエッチングして露出されたn側コンタクト層3の表面にはn電極10が形成されている。

【0008】上記の如く、本発明の素子は、第1のp側窒化物半導体層のp側不純物の濃度に対し、p側不純物濃度を少なく規定されたい第2のp側窒化物半導体層及びp側不純物濃度を多く規定された第3のp側窒化物半導体層を特定の積層順で形成することにより、発光素子出力を向上させることができる。即ち、コンタクト層として作用するp型不純物が高濃度にドープされた第3のp側窒化物半導体層と、その第3のp側窒化物半導体層よりも活性層に接近した位置に、p型不純物が第1のp側窒化物半導体層よりも少なくドープされた第2のp側窒化物半導体層、さらに第2の窒化物半導体よりも活性層に接近した位置にp型不純物が第3より少なく且つ第2より多くドープされた第1のp側窒化物半導体層とを備えることにより、素子全体の出力を向上させることができる。

【0009】活性層4は少なくともInを含む窒化物半導体層を含む単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造とする。井戸層は膜厚100Å以下、さらに好ましくは70Å以下のIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0<x≤1）で構成することが望ましく、また障壁層は井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きいIn<sub>y</sub>Al<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-z</sub>N（0≤y, 0≤z, y+z≤1）を200Å以下、さらに好ましくは150Å以下の膜厚で構成することが望ましい。

を含む窒化物半導体層で構成されていれば良く、特に活性層に接していてもいなくても良い。半導体としては活性層よりもバンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体を選択し、例えば前記のようにAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0≤x≤1）を好ましく成長させる。第1のp側窒化物半導体層5にドープするp型不純物濃度は、1×10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup>以上、1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>以下、好ましくは1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上、より好ましくは1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>に調整する。但し、この範囲内において、第2の窒化物半導体層より多く且つ第3の窒化物半導体層より少なくなるよう調整される。p型不純物濃度が上記範囲であると本発明の効果を得るのに好ましい。第1のp型窒化物半導体層5にドープすることのできるp型不純物としては、例えばMg、Zn、Cd、Ca、Be、Sr等のII族元素を好ましくドープする。さらにこの第1の窒化物半導体層を互いに組成の異なる2種類の窒化物半導体層が積層されてなる超格子層とすることもできる。超格子層とする場合、超格子層を構成する窒化物半導体層の膜厚は100Å以下、さらに好ましくは70Å以下、最も好ましくは50Å以下の膜厚に調整する。膜厚がこの範囲であると発光出力及び順方向電圧の点で好ましい。また本発明において、第1の窒化物半導体層5を超格子層とすると、窒化物半導体層の結晶性が良くなり、出力がさらに向上する。超格子層とする場合、p型不純物は両方の層にドープしても良いし、いずれか一方の層にドープしても良い。

【0011】第2の窒化物半導体層6は第1の窒化物半導体層5に接して形成されていることが望ましいが、特に接して形成されていなくても良い。例えば第1と第2の窒化物半導体層との間に数百Å以下の膜厚のアンドープの窒化物半導体層を成長させることもできる。第2の窒化物半導体層6にドープされるp型不純物は、第1及び第3の各窒化物半導体層5、6よりも少なくなるように調整することが望ましく、具体的には1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>未満、好ましくは1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>以下、より好ましくは1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>に調整する。また第2の窒化物半導体層は、不純物がドープされていなくてもよい。また、この範囲内において、第1及び第3の各窒化物半導体層より少なくなるよう調整される。p型不純物濃度が上記範囲であると本発明の効果を得るのに好ましい。第2の窒化物半導体層にドープされるp型不純物は第1の窒化物半導体層にドープできる不純物と同様のものが挙げられる。第2の窒化物半導体層の組成は特に問うものではないが、好ましくは第3の窒化物半導体層と同一組成とする。第2の窒化物半導体層の膜厚は2μm以下、さらに好ましくは1μm以下、最も好ましくは0.5μm以下に調整する。膜厚がこの範囲であると発光出力及び順方向電圧の点で好ましい。また第2の窒化

造として、その多層膜を構成する窒化物半導体層のp型不純物濃度を段階的に少なくなるようにしても良い。

【0012】第3の窒化物半導体層7は、p電極を形成するコンタクト層とすることが望ましく、好ましくはX値が0.3以下の $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 0.3$ )とするとp電極と好ましいオーミックが得られる。第3の窒化物半導体層7のp型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18}/cm^3$ 以上、 $1 \times 10^{21}/cm^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{19}/cm^3$ 以上、より好ましくは $2 \times 10^{20}/cm^3$ に調整することが望ましい。またこの範囲内において、第1及び第2の各窒化物半導体層より多くなるよう調整される。p型不純物濃度が上記範囲であると本発明の効果を得るのに好ましい。また第3の窒化物半導体層の膜厚は第2の窒化物半導体層よりも薄く調整することが望ましい。即ち、コンタクト層として作用する第3のp型窒化物半導体層の膜厚を薄くして、高濃度にp型不純物をドーピングすることによりコンタクト抵抗が下がるので、Vf（順方向電圧）が低下しやすい傾向にある。第3の窒化物半導体層の膜厚として具体的には、 $1 \mu m$ 以下、さらに好ましくは $0.1 \mu m$ 以下、最も好ましくは $0.05 \mu m$ 以下に調整する。膜厚がこの範囲であると発光出力及び順方向電圧の点で好ましい。

【0013】また、本発明の窒化物半導体素子を構成するのその他の構成は、特に限定されず、少なくとも上記本発明の構成を満たす物であればよい。

【0014】

【実施例】以下、本発明の実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。本発明の実施例において、窒化物半導体素子はMOCVD法を用いて製造される。

【0015】[実施例1] サファイア(0001)面を主面とする基板を用意し、原料ガスにTMG(トリメチルガリウム)、アンモニアを用いて $500^\circ C$ でGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0016】次に温度を $1050^\circ C$ に上昇させ、TMG、アンモニア、不純物ガスにモノシランガスを用いて、Siを $1 \times 10^{19}/cm^3$ ドーピングしたn型GaN層を $5 \mu m$ の膜厚で成長させる。

【0017】次に温度を $800^\circ C$ にして、TMI(トリメチルインジウム)、TMG、アンモニアを用い、活性層として、 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ よりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。

【0018】次に温度を $1050^\circ C$ にして、TMG、アンモニア、不純物ガスとして $Cp_2Mg$ (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{19}/cm^3$ ドーピングしたp型 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ よりなる第1の窒化物半導体層を200オングストロームの膜厚で成長させる。この第1の窒化物半導体層はキャリアを閉じ込める層として作用する。

止め、続いて再度TMG、アンモニア、 $Cp_2Mg$ を流し、 $1050^\circ C$ で、Mgを $1 \times 10^{18}/cm^3$ ドーピングしたGaNよりなる第2の窒化物半導体層を $0.18 \mu m$ の膜厚で成長させる。

【0020】第2の窒化物半導体層成長後、TMG、アンモニア、 $Cp_2Mg$ を用い、Mgを $2 \times 10^{20}/cm^3$ ドーピングした第3の窒化物半導体層を300オングストロームの膜厚で成長させる。

【0021】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器内において、窒素雰囲気中 $700^\circ C$ でアニーリングを行い、p型不純物をドーピングした層をさらに低抵抗化させる。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、RIE装置により最上層の第3の窒化物半導体層側からエッチングを行い、n電極を形成すべきn側コンタクト層の表面を露出させる。最上層の第3の窒化物半導体層のほぼ全面にNi/Auよりなる全面電極を200オングストロームの膜厚で形成し、その全面電極の一部に $1 \mu m$ の膜厚でAuよりなるパッド電極を形成する。一方、露出させたn側コンタクト層の表面には、WとAuよりなるn電極を形成する。

【0022】以上のようにして電極を形成したウェーハを $350 \mu m$ 角のチップに分離し、発光させたところ20mAにおいて、Vf3.2V、発光波長525nm、光出力3.5mW、外部量子効率7.3%となり、従来の緑色LEDに比較して、およそ1.3倍に向上した。

【0023】[実施例2] 実施例1において、第1の窒化物半導体層にMgを $5 \times 10^{19}/cm^3$ ドーピングし、第2の窒化物半導体層にMgを $5 \times 10^{17}/cm^3$ ドーピングし、第3の窒化物半導体層にMgを $1 \times 10^{20}/cm^3$ ドーピングし、その他は同様にして行ったところ、実施例1とはほぼ同様な特性を有するLED素子を得ることができた。

【0024】[実施例3] 図2は本発明に係る一レーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下、この図を元に本発明の第3実施例について説明する。

【0025】サファイア(0001)面を主面とする基板の上にGaNよりなるバッファ層を介してGaNよりなる単結晶を $120 \mu m$ の膜厚で成長させたGaN基板100を用意する。このGaN基板100をサファイアの上に成長させた状態で、反応容器内にセットし、温度を $1050^\circ C$ まで上げ、実施例1と同様にして、GaN基板100上にSiを $1 \times 10^{18}/cm^3$ ドーピングしたGaNよりなるn側バッファ層11を $4 \mu m$ の膜厚で成長させる。このn側バッファ層は高温で成長させるバッファ層であり、例えば実施例1のように、サファイア、SiC、スピネルのように窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に、 $900^\circ C$ 以下の低温において、GaN、AlN等を、 $0.5 \mu m$ 以下の膜厚で直接成長させるバッファ層2とは区別される。

【0026】(n側クラッド層12=歪み超格子層) 続

ム)、TMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなる第1の層を400Åの膜厚で成長させ、続いてシランガス、TMAを止め、アンドープのGaNよりなる第2の層を400Åの膜厚で成長させる。そして第1層+第2層+第1層+第2層+...というように歪み超格子層を構成し、それぞれ100層ずつ交互に積層し、総膜厚0.8μmの歪み超格子よりなるn側クラッド層12を成長させる。

【0027】(n側光ガイド層13) 続いて、シランガスを止め、1050℃でアンドープGaNよりなるn側光ガイド層13を0.1μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層は、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100Åストローム〜5μm、さらに好ましくは200Åストローム〜1μmの膜厚で成長させることが望ましい。またこの層をアンドープの歪み超格子層とすることもできる。歪み超格子層とする場合にはバンドギャップエネルギーは活性層より大きく、n側クラッド層よりも小さくする。

【0028】(活性層14) 次に、原料ガスにTMG、TMI、アンモニアを用いて活性層14を成長させる。活性層14は温度を800℃に保持して、アンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる井戸層を25Åストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、アンドープIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる障壁層を50Åストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後に井戸層を積層した総膜厚175Åストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドープしても良い。不純物は井戸層、障壁層両方にドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。

【0029】(p側キャップ層15) 次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、p側光ガイド層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp側キャップ層17を300Åストロームの膜厚で成長させる。p側キャップ層は0.5μm以下、さらに好ましくは0.1μm以下の膜厚で成長させると、p側キャップ層がキャリアを活性層内に閉じ込めるためのバリアとして作用するので、出力が向上する。このp型キャップ層15の膜厚の下限は特に限定しないが、10Åストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0030】(p側光ガイド層16) p側キャップ層15成長後、再度TMG、Cp<sub>2</sub>Mg、アンモニアを用

アップエネルギーがp側キャップ層15よりも小さい、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるp側光ガイド層16を0.1μmの膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用する。

【0031】(p側クラッド層17=第1の窒化物半導体層) 続いて、1050℃でMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる層を400Åストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAのみを止め、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなる層を400Åストロームの膜厚で成長させる。そしてこの操作をそれぞれ100回繰り返し、総膜厚0.8μmの歪み超格子層よりなるp側クラッド層17を形成する。p側クラッド層のMgの平均濃度は、 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。

【0032】(p側コンタクト層18=第2及び第3の窒化物半導体層) 最後に、1050℃で、p側クラッド層17の上に、Mgを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなる層(第2の窒化物半導体層)を0.1μmの膜厚で成長させ、続いてMgを $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなる層(第3の窒化物半導体層)を200Åストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層18はp型のIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(0≤x, 0≤y, x+y≤1)で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGaNとすれば、p電極21と最も好ましいオーミック接触が得られる。またp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nを含む歪み超格子構造のp側クラッド層17に接して、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体をp側コンタクト層として、その膜厚を500Åストローム以下と薄くしているために、実質的にp側コンタクト層18のキャリア濃度が高くなりp電極と好ましいオーミックが得られて、素子の閾値電流、電圧が低下する。

【0033】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器内において、窒素雰囲気中700℃でアニーリングを行い、p型不純物をドープした層をさらに低抵抗化させる。

【0034】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図3に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層18と、p側クラッド層17とをエッチングして、4μmのストライプ幅を有するリッジ形状とする。このように、活性層よりも上部にある層をストライプ状のリッジ形状とすることにより、活性層の発光がストライプリッジの下に集中するようになって閾値が低下する。特に歪み超格子層よりなるp側クラッド層17以上の層をリッジ形状とすることが好ましい。

【0035】リッジ形成後、p側コンタクト層18のリッジ最表面にNi/Auよりなるp電極21をストライプ状に形成し、p電極21以外の最表面の窒化物半導体層のSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁

電極 22 を形成する。

【0036】以上のようにして、p電極を形成したウェーハを研磨装置に移送し、サファイア基板を研磨により除去し、Ga<sub>2</sub>N基板10の表面を露出させる。露出したGa<sub>2</sub>N基板表面のほぼ全面にTi/Alよりなるn電極23を形成する。

【0037】電極形成後Ga N基板のM面（窒化物半導体を六方晶系で近似した場合に六角柱の側面に相当する面）で劈開し、その劈開面にSi O<sub>2</sub>とTi O<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、10バーを切断してレーザ素子とする。

【0038】このレーザチップをフェースアップ（基板とヒートシンクとが対向した状態）でヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度 $2.0\text{ kA/cm}^2$ 、閾値電圧 $4.0\text{ V}$ で、発振波長 $405\text{ nm}$ の連続発振が確認され、 $1000$ 時間以上の寿命を示した。

【0039】

【発明の効果】このように、本発明の窒化物半導体素子 20  
では、活性層の上に積層される複数の窒化物半導体層の  
p型不純物の濃度を特定の範囲に規定し且つ積層順の特

定することにより、出力を大幅に向上させることができる。また本発明の素子はLED、LDのような発光デバイスだけではなく、他の受光デバイスのような窒化物半導体を用いた多くの電子デバイスに用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施例に係るＬＥＤ素子の構造を示す模式断面図である。

【図2】本発明の他の実施例に係るLD素子の構造を示す模式断面図である。

【符号の説明】

1 . . . 基板

2 . . . バッファ層

3 . . . n側コンタクト層

#### 4 · · · 活性層

5 . . . 第1のp側窒化物半導体層

6 . . . 第2のp側窒化物半導体層

7...第3のp側窒化物半導体層

8 . . . p電極

## 9 . . . パッド電極

10 . . . n電極

